
DAMPAK PENCEMARAN LOGAM BERAT TERHADAP KUALITAS AIR DAN STRATEGI UNTUK MENGURANGI KANDUNGAN LOGAM BERAT

Cein Penias Tony^[1], Rika Ernawati^[1], dan Edy Nursanto^[1]

^[1] Magister Teknik Pertambangan, UPN Veteran Yogyakarta
Jl. Ring Road Utara No.104, Sleman, Yogyakarta

e-mail: Ceinpenias@gmail.com

ABSTRAK

Aktivitas pertambangan akan memberikan limbah bagi lingkungan. Limbah tersebut berupa logam berat yang mudah terakumulasi dengan air. Logam berat dalam air sangat penting bagi organisme hidup tetapi jika konsentrasi di luar batas yang direkomendasikan oleh berbagai organisasi nasional dan internasional dapat menyebabkan gangguan fisiologis. Kelebihan ini di lingkungan air terjadi, melalui berbagai proses dan jalur, oleh sumber alami dan antropogenik. Akumulasi logam-logam ini dalam organisme hidup dapat menjadi racun dan karsinogenik karena sifatnya yang tidak dapat terurai secara hayati. Untuk tujuan ini air, manajemen kualitas dan penilaian dalam logam berat adalah sangat penting. Status kualitas air secara keseluruhan dan identifikasi sumber asal logam berat diperlukan untuk pengelolaan kualitas air. Indeks polusi logam berat (HPI) dan Analisis faktor (FA) adalah pendekatan yang paling nyaman dan efektif untuk menilai status kualitas air dan mengidentifikasi sumber polutan. Makalah ini mengulas tentang sumber, dampak terhadap kesehatan manusia dan teknik penilaian pencemaran logam berat di lingkungan perairan serta teknik pengolahan air limbah untuk menghilangkan logam berat tersebut.

Kata kunci: Logam berat, Kualitas Air, Pertambangan, Limbah

ABSTRACT

Mining activities will bring waste to the environment. Waste exists in the form of heavy metals and can easily accumulate with water. Heavy metals in water are very important for organisms, but if their concentrations exceed the limits recommended by various countries and international organizations it will cause physiological disturbances. This surplus in the aquatic environment occurs from natural and man-made sources through various processes and pathways. Due to their non-biodegradable nature, the accumulation of these metals in organisms can be toxic and carcinogenic. For this purpose, water quality management and heavy metal assessment are essential. Water quality management requires identification of the overall water quality status and sources of heavy metals. Heavy Metal Pollution Index (HPI) and Factor Analysis (FA) are the most convenient and effective methods to assess water quality and identify sources of pollution..

Keywords: Heavy Metals, Water Quality, Mining, Waste

PENDAHULUAN

Adanya kegiatan pertambangan mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satunya yaitu kegiatan pengolahan pada pertambangan akan menciptakan pencemaran logam berat (Fashola et al., 2016). Pencemaran logam berat adalah masalah antropogenik yang tidak dapat dihindari yang harus dihadapi umat manusia (Masindi & Muedi., 2018). Istilah 'logam berat' mengacu pada setiap elemen logam yang memiliki kerapatan yang relatif tinggi terutama lebih besar dari 4 g/cm³ (Vareda et al., 2019). Beberapa logam dalam jumlah kecil diperlukan untuk aktivitas metabolisme dalam sistem manusia sementara yang lain menyebabkan penyakit akut dan kronis (Mahurpawar., 2015). Logam berat masuk ke dalam sistem perairan oleh sumber alami dan antropogenik (Pandey & Madhuri., 2014).

Selama dua abad terakhir, logam berat yang dilepaskan oleh pengaruh antropogenik telah ditumpangkan kontribusinya oleh sumber alam (Priti & Paul., 2016). Pencemaran air karena unsur-unsur ini merupakan masalah lingkungan dan sosial ekonomi yang utama. Logam berat menjadi perhatian khusus karena sifat toksik dan karsinogeniknya, bersama dengan efek berbahaya yang terdokumentasi bagi kesehatan manusia (Mehrandish et al., 2019). Pencemaran logam berat juga menjadi perhatian karena banyak teknik pengolahan air minum yang digunakan di negara berkembang (Joseph et al., 2019), termasuk klorinasi, perebusan, dan desinfeksi matahari, tidak efektif dalam menghilangkan logam berat. Ketika mempertimbangkan dampak logam berat di negara berkembang, banyak makalah ulasan telah menyelidiki prevalensi logam berat dalam sumber air minum di beberapa negara berkembang,

bersama dengan bahaya kesehatan manusia yang terkait dengan kontaminasi logam berat (Rehman et al., 2018). Berbagai strategi pengelolaan kualitas air telah diterapkan untuk menjaga air dari pencemaran (Zhang et al., 2017). Logam berat yang diulas dalam makalah ini meliputi beberapa logam penting yang bersifat biologis dan toksisitas lingkungan, seperti besi (Fe), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), tembaga (Cu), merkuri (Hg), kromium (Cr), arsenik (As), nikel (Ni) dan mangan (Mn) (Hertika & Putra., 2019). Tujuan dari paper ini untuk memahami dampak pencemaran logam berat terhadap air, sumber logam berat, teknik penilaian, serta teknik pengolahan air limbah untuk menghilangkan logam berat tersebut.

KAJIAN PUSTAKA

Berikut penelitian sejenis yang digunakan pada penelitian ini antara lain Vareda et al (2019) menulis bahwa ekstraksi bijih dari industri pengolahan dan metalurgi merupakan sumber yang paling mencemari air lingkungan, Gyamfi dalam penelitiannya ditemukan bahwa pertambangan rakyat perlu diatur untuk melindungi sumber daya air dari pencemaran lebih lanjut (Gyamfi et al., 2019), Modoi dalam penelitiannya ditemukan bahwa konsentrasi logam berat yang tinggi di hilir fasilitas limbah yang menyebabkan peningkatan risiko lingkungan (Modoi et al., 2014). Semua penelitian tersebut menjadi landasan dalam mengkaji serta menganalisis dampak pencemaran terhadap kualitas air sungai..

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kepustakaan. Suatu kegiatan yang mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan subjek atau masalah yang menjadi subjek penelitian. Informasi ini dapat diperoleh dari buku-buku, jurnal, prosiding konferensi, dan karya-karya yang terkait dengan penelitian dalam tinjauan pustaka. Dokumen-dokumen ini ditinjau untuk menulis tentang dampak pencemaran logam berat yang disebabkan oleh kegiatan penambangan terhadap kualitas air sungai dan strategi perbaikannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kualitas Air Terhadap Kemunculan Logam Berat

Saat menyelidiki sumber logam berat, penting untuk mengevaluasi perilaku logam berat, bersama dengan karakteristik adsorben di bawah berbagai kondisi kualitas air (Saied., 2017). Diantara parameter kualitas air terpenting yang terkait dengan penyaliran logam berat adalah pH, suhu, keberadaan alami bahan organik (NOM), dan kekuatan ion (Zhao et

al.,2012). Sedangkan logam berat berkontaminasi paling sering dikaitkan dengan air limbah industri/ limbah pertambangan, di negara berkembang logam berat telah terdeteksi di berbagai sumber air, termasuk limbah cair domestik, air tanah, sungai dan danau (Chowdhury et al., 2016). Sumber air ini memiliki karakteristik kualitas air yang bervariasi, yang pada akhirnya mempengaruhi kemampuan adsorben untuk secara efektif menghilangkan kontaminasi logam berat (Qiu et al., 2021).

Penyebab Munculnya Logam Berat

Tingginya kandungan logam berat di lingkungan perairan terjadi melalui berbagai proses dan jalur oleh alam dan antropogenik. Sumber alami meliputi deposisi basah dan kering dari garam atmosfer (Dirgantara., 2013), interaksi air-tanah dan air-batuan. Sumber antropogenik terdiri dari urbanisasi yang cepat dan industrialisasi serta pertambangan (Hu et al., 2013).

Sumber alami logam berat

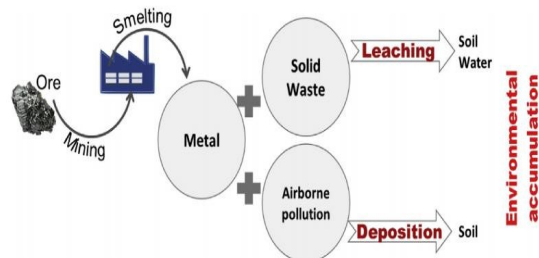
Keberadaan logam berat di perairan oleh sumber alami tergantung pada geologi lokal, hidrogeologi dan karakteristik geokimia akuifer (Brindha., 2017). Sumber dasar unsur pencemar badan air adalah oleh pelapukan batuan sedimen seperti batugamping, dolomit, serpih, batupasir. Interaksi air dengan batuan beku seperti granit, gabro, nepheline syenite, basalt, andesit, ultramafik juga menyumbang beberapa unsur utama. Mineral atau bijih tertentu yang pada saat pelarutan meningkatkan kadar unsurnya adalah magnetit, hematit, goetit, siderit (Fe); kalsit, kuprit, perunggu, azuit (Cu); kromit (Cr); kaolinit, montmorillonit, arsenik trioksida, orpiment, arsenopirit (As); kalaminit, smithsonit (Zn); pirolusit, rhodokriste (Mn). Seperti juga ditemukan terkonsentrasi dalam endapan mineral yang mengandung sulfida, terutama yang terkait dengan mineralisasi emas; dan bijih besi oksida hidro. Beberapa unsur minor seperti Cd, Co, Mn terdapat di kerak bumi bersama dengan mineral lainnya. Selain itu, Ni, Pb dan Hg terdeposit ke dalam sistem perairan dari jatuhnya kering atau basah dari aerosol atmosfer yang terbentuk dari debu yang tertiuip angin, emisi vulkanik, kebakaran hutan dan vegetasi.

Sumber Antropogenik (Campur Tangan Manusia)

Lahirnya industrialisasi dan urbanisasi yang cepat menurunkan daya dukung air secara tajam (Aditya dkk., 2021). Tingkat konsentrasi Hg dalam air meningkat sebagian besar karena kegiatan pertanian, aktivitas manusia seperti pengolahan tanah dan penebangan, pembuangan limbah domestik, pengendapan atmosfer dari pembakaran limbah padat, pembakaran batu bara dan minyak, proses pirometalurgi (Fe, Pb dan Zn) dan kegiatan

pertambangan (Saha & Paul., 2020). Limpasan air permukaan dari hujan atau salju membawa tanah yang terkontaminasi Hg ke sistem air yang berdekatan atau sungai sekitar (Aditya dkk., 2019). Proses industri yang bertanggung jawab atas pencemaran air dengan Hg termasuk kloralkali, baterai, lampu neon, termometer, dan produksi sakelar elektronik. Industri kimia telah menjadi salah satu sumber pencemar merkuri terbesar di dunia. Sumber antropogenik Ni berasal dari pipa dan wadah logam yang terkorosi. Timbal di lingkungan perairan berasal dari senyawa seperti cat dan aditif bensin dan pengendapan aerosol yang terbentuk dari proses industri suhu tinggi seperti pembakaran batubara, peleburan dan produksi semen. Cd masuk ke sistem air melalui pembuangan industri dan kerusakan pipa galvanis.

Kadmium juga terdapat dalam pupuk fosfat yang berperan sebagai salah satu sumber pencemar di badan air. Cu biasanya terdapat dalam air minum dari pipa tembaga, limbah industri, serta dari aditif yang dirancang untuk mengendalikan pertumbuhan alga. Fe dan Mn dalam air berasal dari limbah industri, drainase asam tambang, limbah dan lindi TPA. Sumber antropogenik Cr meliputi pembuangan air limbah industri dari berbagai industri seperti metalurgi (baja, paduan ferro dan nonferrous), refraktori (krom dan krom-magnesit) dan kimia (pigmen, elektroplating, penyamakan dan lainnya). Sumber As dalam ekosistem perairan termasuk pertambangan nonferrous, ekstraksi mineral, pembakaran bahan bakar fosil dan limbah, aditif pakan unggas dan babi, pestisida. Sumber lain juga termasuk pembakaran limbah kota dan industri, pengawet kayu dan melalui pemanggangan bijih emas arsenius. Beban Zn dalam sistem perairan bersifat tertutup atau kegiatan penambangan sedang berlangsung. Sebagian besar logam berat di ekosistem perairan berkontribusi pada peningkatan kadar melalui air asam tambang (AMD), salah satu bahaya lingkungan paling serius dari industri pertambangan. DAL dihasilkan oleh oksidasi mineral pembawa sulfida yang terpapar pada kondisi pelapukan yang menghasilkan limbah berkualitas rendah yang ditandai dengan pH asam dan tingkat logam terlarut yang tinggi (misalnya, As, Cd, Cu, Zn) dan anion (misalnya, sulfat dan karbonat).



Gambar 1: Skema munculnya polutan logam berat dari ekstraksi dan pemrosesan

bijih. (Sumber : Vareda, J. P., Valente, A. J., & Durães, L. (2019)).

Dampak Dari Kontaminasi Logam Berat

Logam berat masuk ke dalam tubuh manusia melalui air minum yang diperoleh dari berbagai sumber seperti sumur, sungai, danau, waduk, kolam dll. Keberadaan logam dalam air minum di luar batas yang ditentukan oleh berbagai organisasi nasional dan internasional dapat menimbulkan bahaya kesehatan.

Tabel 1: Standart Air Minum Internasional Sumber : Priti & Paul, (2016).

Heavy Metals	USEPA,2008 (µg/l)	WHO,2008 (µg/l)	EU,1998 (µg/l)	BIS (ISO: 10500,2012) (µg/l)
Fe	300	NGL*	200	300
Pb	15	10	10	10
Zn	5000	NGL**	NM	5000
Cd	5	3	5	3
Cu	1300	2000	2000	50
Hg	2	6	1	1
Cr	100	50	50	50
As	10	10	10	10
Ni	100	70	20	20
Mn	50	400	50	100

Ni dan Hg bersifat karsinogenik dan menyebabkan kerusakan DNA (Deoxy ribo-nucleic acid). Ni juga menyebabkan toksisitas sistemik, alergi, rambut rontok dan anemia (Mishra et al., 2019). Pb, salah satu logam berat yang umum di luar batas yang akan menjadi racun metabolik dan penghambat enzim (Gjorgieva., 2018). Ini juga dapat merusak koneksi saraf dan menyebabkan gangguan darah dan otak. Selain itu, efek biokimia timbal adalah gangguannya dengan sintesis hemo, yang menyebabkan kerusakan hematologis. Fe dan Mn pada konsentrasi rendah diperlukan untuk aktivitas enzim tetapi pada konsentrasi tinggi, terakumulasi di otot, hati dan mempengaruhi otak dan sistem saraf pusat. Cr yang dikenal sebagai agen karsinogenik dan toksikologi dapat menyebabkan dermatitis dan ulserasi pada kulit. Paparan jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan ginjal, hati, peredaran darah dan kerusakan jaringan saraf.

Seperti pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat menyebabkan lesi pada kulit, hiperpigmentasi, komplikasi pernapasan, perubahan hormonal, gagal ginjal kronis. Zn dibutuhkan dalam konsentrasi yang lebih rendah untuk bertindak sebagai katalis dalam aktivitas enzim sistem kehidupan tetapi terakumulasi dalam otot dan hati. Efek kesehatan kronis Zn termasuk kanker, cacat lahir, kerusakan organ, gangguan sistem saraf dan kerusakan sistem kekebalan. Cd, yang diklasifikasikan sebagai elemen jejak beracun, tampaknya terakumulasi seiring bertambahnya usia, terutama di ginjal dan dianggap

sebagai agen penyebab kanker dan penyakit kardiovaskular. Air minum yang terkontaminasi industri menyebabkan penyakit tulang dan ginjal. Dengan paparan jangka panjang dapat menggantikan kalsium dalam tulang dan merusak ginjal. Cd dapat mengganggu kemampuan metallothionein (protein yang mengikat logam esensial berlebih untuk membuatnya tidak tersedia) untuk mengatur Zn dan Konsentrasi Cu dalam tubuh yang menyebabkan peningkatan seng dalam urin. Paparan Cu dalam jangka panjang atau konsentrasi tinggi dapat menyebabkan penyakit kronis seperti gangguan sistem saraf, gagal hati dan ginjal. Peningkatan kadar Cu dalam air minum juga dapat menyebabkan muntah, sakit perut, mual, diare dan anemia (Martin & Griswold., 2009)

Penilaian Kualitas Air

Para peneliti dan berbagai organisasi saat ini fokus pada penilaian kualitas air untuk mengurangi dampak polutan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Garis waktu studi hidrologi menggambarkan pengembangan berbagai pendekatan untuk mengidentifikasi sumber asal dan akses keseluruhan kualitas air. Survei literatur yang luas membuktikan bahwa teknik statistik (Analisis faktor) dan indeks pencemaran logam berat adalah pendekatan yang paling nyaman dan efektif untuk penilaian kualitas air (Agustina dkk., 2021).

Indeks Polusi Logam Berat

Indeks Pencemaran Logam Berat (HPI) mewakili kualitas air secara keseluruhan. Model persamaan berikut (persamaan I dan II) :

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{[M_i (-) - I_i]}{S_i - I_i} \times 100 \quad \dots I$$

Mi: Nilai terukur untuk parameter ke-i.

Ii: Nilai ideal atau nilai tertinggi yang diinginkan untuk parameter ke-i.

Si: Nilai standar atau yang diizinkan untuk parameter ke-i.

Tanda (-) menunjukkan perbedaan numerik dari dua nilai mengabaikan tanda aljabar (Giri & Singh., 2014).

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^N W_i Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad \dots II$$

Qi: Sub indeks dihitung untuk parameter ke-i,

Wi: Bobot yang ditetapkan untuk parameter ke-i.

Berat sampel didasarkan pada pentingnya parameter yang ditetapkan antara nol hingga satu. Ini juga dapat dianggap sebagai berbanding terbalik dengan nilai standar untuk setiap elemen. Kualitas air berdasarkan indeks pencemaran logam berat dikategorikan menjadi: pencemaran logam berat rendah (HPI <100), pencemaran logam berat pada ambang batas

risiko (HPI = 100) dan pencemaran logam berat tinggi (HPI > 100) (Prasanna et al., 2012).

Strategi Menurunkan Kandungan Logam Berat Pada Air

Di negara berkembang, peningkatan kelangkaan air dan polusi berkontribusi terhadap kurangnya akses terhadap air minum bersih (Sitanggang., 2016). Sementara berbagai bentuk pencemaran air ada, kontaminasi logam berat dalam sumber air minum menjadi perhatian yang berkembang. Selain itu, negara berkembang tidak memiliki akses ke metode pengolahan air umum yang akan menghilangkan logam berat (Sutanto., 2017). Akibatnya, sejumlah besar penelitian telah dilakukan untuk menyelidiki penggunaan adsorben berbiaya rendah untuk menghilangkan logam berat dari sumber air (Tripathi & Ranjan., 2015). Adsorben murah yang telah diteliti meliputi berbagai jenis limbah pertanian, deposit tanah dan mineral, biomassa akuatik dan terestrial, dan berbagai bahan yang melimpah. Para peneliti telah melaporkan bahwa bahan-bahan ini dapat secara efektif menghilangkan logam berat. Limbah pertanian dan produk sampingan tampaknya paling efektif dalam menghilangkan logam berat, sementara tanah alami dan endapan mineral tampaknya paling tidak efektif. Meskipun modifikasi kimia pada adsorben meningkatkan kapasitas adsorpsi keseluruhan dari bahan yang diuji, metode ini biasanya tidak tersedia untuk komunitas di negara berkembang. Namun, efektivitas bahan ini dalam menghilangkan logam berat sangat bergantung pada kondisi kualitas air, seperti pH, kekuatan ion, dan suhu, serta karakteristik bahan (misalnya, luas permukaan spesifik, kimia permukaan, dll.). Kondisi tersebut dapat mempengaruhi spesiasi dan stabilitas logam berat, serta karakteristik adsorptif dari adsorben.

Selanjutnya, dalam hal cara pembuangan logam berat, pertukaran ion adalah mekanisme yang paling banyak dikutip, bersama dengan bahan limbah dan produk sampingan sisa lainnya yang melimpah di berbagai, bersama dengan negara-negara dengan kegiatan industri yang signifikan, yang paling sering berkontribusi terhadap peningkatan kontaminasi logam berat. Penerapan bahan jenis ini dalam proses pengolahan air di lokasi tersebut berpotensi ramah lingkungan karena akan mengurangi pembuangan limbah sekaligus meningkatkan kualitas sumber air setempat. Selanjutnya, penelitian masa depan harus mengevaluasi kemampuan bahan-bahan ini dengan sumber air lokal yang benar, seperti limbah industri, sumber sungai dan danau, dan air limbah domestik, menggunakan pengujian skala baku. Penelitian masa depan di bidang ini juga harus menentukan dampak penuh dari berbagai kondisi air pada penyisihan logam berat dan menilai kelayakan sebenarnya dari bahan berbiaya rendah yang

diusulkan di negara berkembang melalui studi skala percontohan.

KESIMPULAN

Sumber logam berat di lingkungan perairan adalah alami dan antropogenik. Sumber alami termasuk pelapukan batuan yang diperkaya mineral, pengendapan garam atmosfer yang dihasilkan dari proses alami seperti letusan gunung berapi, kebakaran hutan, dll. Sumber antropogenik utama meliputi pembuangan air limbah, lumpur dari kegiatan industri. Kegiatan agronomi dan rumah tangga juga meningkatkan kadar logam berat pada sistem perairan di sekitarnya. Pembakaran bahan bakar fosil, pembakaran limbah kota dan industri, emisi kendaraan dan industri menghasilkan aerosol, yang jatuh karena curah hujan kering dan basah juga mencemari akuifer. Konsentrasi logam berat dalam air minum di luar batas yang direkomendasikan yang ditentukan oleh berbagai organisasi nasional dan internasional menyebabkan penyakit akut dan penyakit kronis. Ini bisa menjadi tidak fatal seperti kelemahan otot dan fisik hingga fatal misalnya otak, gangguan sistem saraf dan bahkan kanker. Untuk menjaga kesehatan manusia dan lingkungan di seluruh penyelidikan kualitas air diperlukan. Langkah pertama adalah mengakses kualitas air secara keseluruhan dan kemudian mengidentifikasi sumber pencemar untuk mengurangi tingkat pencemaran. Indeks pencemaran logam berat adalah metode yang terdokumentasi dengan baik untuk memeriksa status air sehubungan dengan logam berat. Analisis faktor terbukti merupakan metode yang efektif untuk mengidentifikasi sumber asal logam berat yang mencemari badan air. Penerapan kedua pendekatan selanjutnya mewakili status aktual dan pemahaman badan air dan selanjutnya membantu dalam mempersiapkan rencana pengelolaan untuk mengurangi tingkat pencemaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Dosen Pembimbing dan seluruh rekan rekan Magister Teknik Pertambangan yang telah membantu dalam penyelesaian jurnal ini..

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, M. T., Bargawa, W. S., & Cahyadi, T. A. (2019, September). Pemanfaatan Pit Lake Sebagai Program Pasca Tambang. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 1, No. 1, pp. 551-556).
- Aditya, M. T., Bargawa, W. S., Cahyadi, T. A., Ernawati, R., & Nursanto, E. (2021). Penentuan Debit Air Limpasan dan Luas Kompartemen pada Rencana Desain

- Wetland Bukit Ragas. *Jurnal Sosial dan Teknologi*, 1(2), 98-105.
- Agustina, T. F., Hendrawan, D. I., & Purwaningrum, P. (2021). Analisis Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA Bagendung, Cilegon. *BHUWANA*, 1(1), 29-43.
- Brindha, K., Pavelic, P., Sotoukee, T., Douangsavanh, S., & Elango, L. (2017). Geochemical characteristics and groundwater quality in the Vientiane plain, Laos. *Exposure and Health*, 9(2), 89-104.
- Chowdhury, S., Mazumder, M. J., Al-Attas, O., & Husain, T. (2016). Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the total Environment*, 569, 476-488
- Dirgantara, S. B. (2013). Dampak Aerosol Terhadap Lingkungan Atmosfer. *Berita Dirgantara*, 14(1).
- Fashola, M. O., Ngole-Jeme, V. M., & Babalola, O. O. (2016). Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance. *International journal of environmental research and public health*, 13(11), 1047.
- Giri, S. and Singh, A.K (2014)., "Assessment of SurfaceWater Quality Using HeavyMetal Pollution Index in Subarnarekha River, India", *Water Qual Expo Health*, 5, March, pp.173-182.
- Gjorgieva Ackova, D. (2018). Heavy metals and their general toxicity on plants. *Plant Science Today*, 5(1), 15-19.
- Gyamfi, E., Appiah-Adjei, E. K., & Adjei, K. A. (2019). Potential heavy metal pollution of soil and water resources from artisanal mining in Kokoteasua, Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 450-456.
- Hertika, A. M. S., & Putra, R. B. D. S. (2019). *Ekotoksikologi untuk Lingkungan Perairan*. Universitas Brawijaya Press.
- Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E. Y., & Cheng, H. (2013). Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(9), 6150-6159.
- Joseph, L., Jun, B. M., Flora, J. R., Park, C. M., & Yoon, Y. (2019). Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere*, 229, 142-159.
- Mahurpawar, M. (2015). Effects of heavy metals on human health. *International Journal of Research-Granthaalayah*, ISSN-23500530, 2394-3629.
- Martin, S., & Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental*

- Science and Technology briefs for citizens*, 15, 1-6.
- Masindi, V., & Muedi, K. L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. *Heavy metals*, 10, 115-132.
- Mehrandish, R., Rahimian, A., & Shahriary, A. (2019). Heavy metals detoxification: A review of herbal compounds for chelation therapy in heavy metals toxicity. *Journal of Hermed Pharmacology*, 8(2), 69-77.
- Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., & Chowdhary, P. (2019). Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. In *Environmental biotechnology: For sustainable future* (pp. 103-125). Springer, Singapore.
- Modoi, O. C., Roba, C., Török, Z., & Ozunu, A. (2014). Environmental risks due to heavy metal pollution of water resulted from mining wastes in NW Romania. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 13(9).
- Pandey, G., & Madhuri, S. (2014). Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2(2), 17-23.
- Prasanna, M. V., Praveena, S. M., Chidambaram, S., Nagarajan, R., & Elayaraja, A. (2012). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 67(7), 1987-2001.
- Priti, P., & Paul, B. (2016). Assessment of heavy metal pollution in water resources and their impacts: A review. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, 3(8), 671-675.
- Qiu, B., Tao, X., Wang, H., Li, W., Ding, X., & Chu, H. (2021). Biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal: a review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 105081.
- Rehman, K., Fatima, F., Waheed, I., & Akash, M. S. H. (2018). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *Journal of cellular biochemistry*, 119(1), 157-184.
- Saha, P., & Paul, B. (2020). Water Quality Assessment Techniques. In *Sustainable Agriculture Reviews 40* (pp. 179-216). Springer, Cham.
- Tripathi, A., & Ranjan, M. R. (2015). Heavy metal removal from wastewater using low cost adsorbents. *J Bioremed Biodeg*, 6(6), 315.
- Saied, M. K. M. (2017). *Removal of heavy metals from water using carbon nanotubes functionalized with deep eutectic solvents* (Doctoral dissertation, University of Malaya).
- Sitanggang, P. Y. (2016). Desentralisasi Sistem Air Minum dengan Menerapkan Teknologi Membran di Indonesia. *Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung*.
- Sutanto, K. (2017). *Teknologi Berbasis Nanomaterial untuk Remediasi dan Pengolahan Air*.
- Vareda, J. P., Valente, A. J., & Durães, L. (2019). Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. *Journal of environmental management*, 246, 101-118.
- Zhang, Y., Chu, C., Li, T., Xu, S., Liu, L., & Ju, M. (2017). A water quality management strategy for regionally protected water through health risk assessment and spatial distribution of heavy metal pollution in 3 marine reserves. *Science of the Total Environment*, 599, 721-731.
- Zhao, D., Wang, X., Yang, S., Guo, Z., & Sheng, G. (2012). Impact of water quality parameters on the sorption of U (VI) onto hematite. *Journal of Environmental Radioactivity*, 103(1), 20-29.